

K ODHADU ÚNAVOVEJ ŽIVOTNOSTI PRI ZAŤAŽOVANÍ S NÁHODNÝM PRIEBEHOM NAPÄTÍ

Vladimír Kliman, Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV,
Bratislava

Z dôvodov hospodárneho konštruovania a dosiahnutia čo najmenej hmotnosti strojnych častí, je potrebné pri vývoji konštrukcie používať spoľahlivé výpočtové metódy odhadu únavovej životnosti. Medzi hlavné požiadavky ktoré sa na ne kladú patrí:

- rešpektovanie materiálových charakteristík, ktoré najlepšie vystihujú odozvu materiálu na premenlivý charakter zaťaženia (využívanie parametrov cyklickej plasticity),
- zohľadnenie vlastností samotného zaťažovacieho procesu a
- požiadavka jednoduchého použitia.

Príspevok sa zaoberá metódou odhadu únavovej životnosti, ktorá je založená na energetickom kritériu únavovej pevnosti a zohľadňuje stochastický charakter prevádzkového zaťaženia využívaním štatistických charakteristík zaťažovacieho procesu.

Teoretický rozbor problému

Metóda je založená na transformácii náhodného prevádzkového zaťažovacieho procesu na fiktívne ekvivalentné harmonické namáhanie, pričom pri prevode vychádzame z toho, aby ekvivalentný harmonický proces spôsobil za čas t rovnaké únavové poškodenie ako náhodný proces, resp. aby mal rovnaký výkon ako náhodný proces. Veľkosť únavového poškodenia budeme charakterizovať množstvom hysteréznej energie absorbovanej materiálom pri zaťažovaní, pričom hysterézná energia za jeden cyklus je definovaná plochou hysteréznej slučky (obr.1).

Predpokladajme, že je nám známy typický náhodný prevádzkový proces dĺžky t , charakteristický blok, opakovaním ktorého je možné teoreticky nahradiť účinok nepretržitého procesu. Z podmienky rovnakého únavového poškodenia náhodného a ekvivalentného harmonického procesu vyplýva

$$W_{bl} = W_{ek} \cdot N_{fi} \quad , \quad \text{kde} \quad (1)$$

W_{bl} je hysterézná energia jedného charakteristického bloku
 W_{ek} je hysterézná energia jedného cyklu ekvivalentného namáhania a

N_{fi} je počet cyklov ekvivalentného namáhania, potrebných na dosiahnutie hysteréznej energie jedného bloku.
 Pre celú oblasť životnosti platí

$$W_{bl} N_{bl} = W_{ek} N_{fek} \quad , \quad \text{kde} \quad (2)$$

N_{bl} je počet charakteristických blokov do lomu a
 N_{fek} je počet cyklov ekvivalentného namáhania do lomu.

Z rovníc (1) a (2) vyplýva životnosť vyjadrená počtom charakteristických blokov

$$N_{bl} = \frac{N_{fek}}{N_{fi}} \quad . \quad (3)$$

Z podmienky rovnakého výkonu bude frekvencia ekvivalentného procesu

$$f = \frac{W_{bl}}{t W_{ek}} \quad (4)$$

a životnosť vyjadrená v časovom merítke, ktoré je pri náhodných procesoch vhodnejšie, bude

$$T = \frac{N_{fek}}{f} \quad . \quad (5)$$

A) Voľba amplitúdy ekvivalentného namáhania

Veľkosť amplitúdy ekvivalentného harmonického namáhania σ_{aek} musí spĺňať rovnicu (2). Nakoľko však hysterézná energia do lomu W nie je konštanta ale je funkcia amplitúdy zataženia, nemôžeme voliť hodnotu σ_{aek} ľubovoľne. Taktiež nemôžeme pri náhodnom zatažení jednoznačne určiť pri akej úrovni napätia dosiahne súčet energií od

jednotlivých amplitúd medznú čiaru, predstavujúcu túto závislosť (obr.1). Môžeme však, pri známej hustote pravdepodobnosti amplitúd zaťažovacieho procesu, určiť takú hodnotu σ_{aek} , pri ktorej hodnota energie do lomu náhodného procesu w_s bude s pravdepodobnosťou $X\%$ menšia ako hodnota w_L , odpovedajúca amplitúde σ_{aek} . Voľbou σ_{aek} , teda môžeme určiť pravdepodobnosť porušenia.

Zvoľme efektívnu hodnotu ekvivalentného procesu rovnú p-násobku smerodajnej odchýlky náhodného procesu s_σ .

$$\sigma_{ef} = \frac{\sigma_{aek}}{\sqrt{2}} = p \cdot s_\sigma, \quad (6)$$

pričom veľkosťou parametra p určíme hodnotu pravdepodobnosti $X\%$.

B) Určenie ekvivalentného počtu cyklov

Počet cyklov ekvivalentného namáhania do lomu určíme pomocou rovníc kriviek životnosti. Pre náš prípad, keď zaťažovací proces je v tvare $\sigma = f(t)$ a σ_{aek} je určené podľa rovnice (6), použijeme vzťah

$$s_\sigma \cdot p \sqrt{2} = \sigma_f' (2N_{fek})^b, \quad (7)$$

kde σ_f' je súčiniteľ únavovej pevnosti a b je súčiniteľ únavovej životnosti.

C) Určenie hysteréznej energie

Hysterézná energia za jeden cyklus harmonického namáhania s amplitúdou σ_a (práca plastickej deformácie) sa pre náš prípad vypočíta pomocou cyklickej deformačnej krivky a Morrowovho vzťahu z výrazu

$$w = 4 \frac{1-n'}{1+n'} \left[\frac{\sigma_a^{1+n}}{k} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad \text{kde} \quad (8)$$

k , n sú parametre cyklickej deformačnej krivky $\sigma_a = k \epsilon_{ap}^n$, n' je exponent tvaru hysteréznej slučky závislý na hodnote amplitúdy zaťaženia $n' = f(\sigma_a)$ a

ϵ_{ap} je amplitúda plastickej deformácie.

Pre σ_{aek} zvolené podľa rovnice (6) potom bude

$$W_{ek} = 4 \frac{1-n'}{1+n'} \frac{1}{k \cdot \frac{1}{n}} \left[p \cdot s_{\sigma} \sqrt{2} \right]^{\frac{1+n}{n}} \quad (9)$$

Hysteréznú energiu charakteristického bloku odhadneme výpočtom na základe rozloženia náhodného procesu na spektrum harmonických cyklov, pričom je potrebné použiť "rain flow method". Energia bloku potom bude

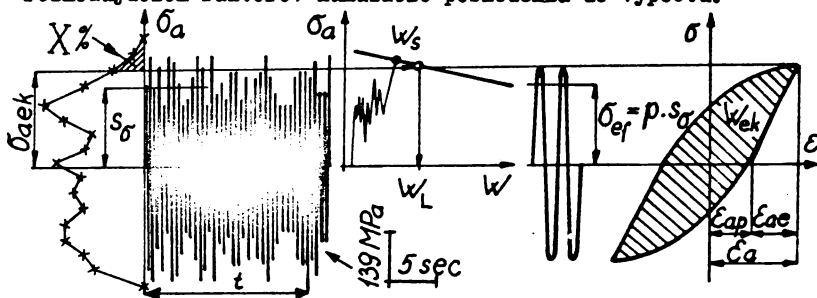
$$W_{bl} = \sum_{i=1}^r a_i W_i \quad , \text{ kde} \quad (10)$$

W_i počítame podľa rovnice (8).

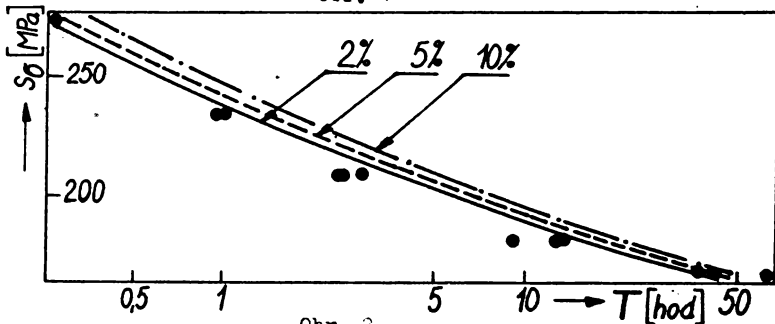
Záver

Metóda sa overovala na oceli 11600 pri zatažovaní procesom na obr.1. Pre výpočet sa použila krivka životnosti $\sigma = 989(2N_f)^{-0.101}$ a cyklická deformačná krivka $\sigma = 966 \epsilon^{0.156}$. Výsledky na obr.2 predstavujú dobrú zhodu s experimentom.

Metóda umožňuje pri jasnej fyzikálnej interpretácii pravdepodobnostný prístup k odhadu životnosti ako aj zahrnutie rozhodujúcich faktorov kumulácie poškodenia do výpočtu.



Obr. 1



Obr. 2